



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP
REPOSITÓRIO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E INTELECTUAL DA UNICAMP**

Versão do arquivo anexado / Version of attached file:

Versão do Editor / Published Version

Mais informações no site da editora / Further information on publisher's website:

<http://revistadae.com.br/site/artigos/216>

DOI: 10.4322/dae.2019.027

Direitos autorais / Publisher's copyright statement:

©2019 by Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. All rights reserved.

DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Cidade Universitária Zeferino Vaz Barão Geraldo

CEP 13083-970 – Campinas SP

Fone: (19) 3521-6493

<http://www.repositorio.unicamp.br>

Avaliação do desempenho da distribuição de bocas de lobo com base na curva de saturação da sarjeta

Gutter saturation point based storm drain placement performance evaluation

• **Data de entrada:**
28/08/2017
• **Data de aprovação:**
14/09/2017

José Anderson do Nascimento Batista

DOI: 10.4322/dae.2019.027

Resumo

A solução teórica para a distribuição de bocas de lobo para projetos de sistemas de águas pluviais urbanas (SAPU) é obtida por meio do levantamento de pontos de saturação de sarjetas. Os manuais de projetos, porém, aceitam alternativamente a distribuição linear de bocas de lobo, uniformemente distribuídas no perímetro das quadras. Por outro lado, o crescimento urbano mundial e o número de acidentes de trânsito causados por alagamentos de bocas de lobo motivaram esta avaliação de desempenho de distribuição de bocas de lobo obtida por ambos os critérios de distribuição. Os resultados a partir de um estudo de caso mostram que a distribuição linear de bocas de lobo, que segue direta e simplesmente a distribuição de quadras no terreno, pode ter comportamento inverso em relação à distribuição pelos pontos de saturação, levando a uma quantidade significativa de bocas de lobo a seções de sarjetas sobrecarregadas.

Palavras-chave: Bocas de lobo. Águas pluviais. Drenagem urbana

Abstract

The storm drain placement to urban storm water systems (USWS) is fully obtained by determining the so-called gutter saturation points. Nevertheless, design manuals state that uniformly distributing those drains linearly over gutters is also a solution. On the other hand, the urban population growth and a number of pedestrians and car accidents caused by that drain ponding have motivated this storm drain placement hydraulic performance study for both placement criteria. Results for a case-study reveal that the linear distribution of storm drains, which follows straight and simply the block morphology over the terrain, may have inverse behavior in respect to that distribution for gutter saturation points, leading to a signifying amount of storm drains over saturated gutter cross-sections.

Keywords: Storm drains. Storm water. Urban drainage

José Anderson do Nascimento Batista – Doutor de Ciências da Engenharia Ambiental (USP). Mestre de Engenharia Sanitária (UFRN). Engenheiro Civil (UFRN). Professor Doutor do Departamento de Recursos Hídricos da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp.
***Endereço para correspondência:** Rua Saturnino de Brito, 224, Cidade Universitária, Campinas, SP, CEP 13083-889. E-mail: nbatista@fec.unicamp.br.

1 INTRODUÇÃO

As normas de projeto e execução de sistemas de águas pluviais urbanas (SAPU), no Brasil e outros países que adotam o sistema separador absoluto, são definidas pelos próprios órgãos contratantes, frequentemente pertencentes às prefeituras municipais. A pluralidade dos valores dos parâmetros de projetos é em parte explicada pela sensibilidade do sistema a condicionantes físicos locais, como o clima e o relevo. Não obstante, as técnicas de parametrização de tais condicionantes são amplamente conhecidas pelo meio técnico e acadêmico. Entretanto, a realidade da frequência elevada com que ocorrem os alagamentos e as inundações no Brasil e demais países localizados em regiões não desérticas demonstra que o período de retorno adotado para os sistemas convencionais de drenagem não é o observado em campo. Entre os fatores determinantes para a sobrecarga de um sistema de microdrenagem estão as mudanças do uso e ocupação do solo, que resultam no aumento da taxa de ocupação do solo (e.g. o adensamento da população e a reconfiguração de zonas residenciais para zonas comerciais). Outros fatores, por outro lado, estão relacionados a erros de execução e/ou projeto 1) da tubulação da rede, em face da elevada sensibilidade do escoamento às declividades encontradas; e 2) da alocação de bocas de lobo, que são os elementos de entrada do escoamento na rede. O transbordamento do escoamento em redes de drenagem pluvial urbana através de um poço de visita não é analisado na etapa de elaboração do projeto, pois essas redes são entendidas no Brasil como redes que devem trabalhar sob escoamento livre. No estudo de caso de uma rede pluvial urbana, Boldrin e Batista (2017) identificaram por meio de simulação computacional que 10% dos poços de visita dessa rede estão sujeitos a transbordar a cada cinco anos. O estudo mostra também, para a mesma chuva, que o funcionamento hidráulico da rede em 90% dos trechos é afogado.

Os critérios de distribuição utilizados para o lançamento de bocas de lobo são diversos, incluindo-se o espaçamento uniforme, seja a cada 60 m do perímetro da quadra (distribuição linear) seja a cada quadra, conforme encontrado na literatura técnica nacional e internacional (e.g. SMDU, 2012; UDFCD, 2008). Outros parâmetros baseados no trânsito são a presença de faixa de pedestres, calçadas e lombadas. A vazão de saturação da sarjeta é o único parâmetro de lançamento com base no comportamento hidráulico do escoamento superficial direto. Nesse caso, a boca de lobo deve ser lançada à posição em que a vazão do escoamento superficial gerado por uma determinada área de contribuição atinge o equilíbrio com a capacidade efetiva de condução da sarjeta, condição esta denominada saturação da sarjeta. Sem a definição de uma metodologia minimamente detalhada, ou, ainda, um programa computacional capaz de auxiliar o projetista no lançamento de bocas de lobo, a solução usual tem sido adotar bocas de lobo a cada quadra, visando à alternativa de menor custo de implantação. Entretanto, a incompatibilidade com a capacidade de condução das sarjetas pode comprometer a segurança do escoamento, provocando alagamentos e eventualmente erosão do pavimento.

Alagamentos na microdrenagem provocam acidentes com prejuízos significativos. Eventualmente são represados em superfície milhares de metros cúbicos, de forma que o lançamento e o dimensionamento das bocas de lobo sejam elementos decisivos para o desempenho do sistema. Embora a velocidade de tráfego das vias primárias e secundárias seja reduzida, o que inibe os riscos de aquaplanagem, os alagamentos da microdrenagem provocam acidentes a veículos e a pedestres, quer devido à força cinética da enxurrada, quer devido a empoçamentos acima de meio metro de profundidade. Em todo novo continente e países em desenvolvimento, a realidade do crescimento populacional pressiona as administrações locais pela expansão urbana. No Brasil, a taxa de

crescimento populacional das áreas urbanas é de 1,5% ao ano (UNFPA, 2007), enquanto o déficit habitacional chega a 8,8% da população (FJP, 2016). Esse quadro de expansão urbana acelerada indica que a segurança contra os danos causados por alagamentos ainda depende da definição de uma metodologia adequada para o projeto de novas redes de drenagem urbana. Não obstante os projetos urbanísticos e o planejamento urbano influenciarem diretamente o comportamento dos componentes superficiais do sistema de drenagem, poucos ou nenhum parâmetro da morfologia urbana tem sido utilizado para fundamentar o lançamento dos elementos de entrada do escoamento na rede.

O presente estudo consiste em uma avaliação dos resultados obtidos por meio do critério da distribuição linear e por meio do critério da saturação da sarjeta, aplicados sobre uma determinada planta urbanística experimental. A planta urbanística aqui utilizada foi desenvolvida para a prática didática de projetos de redes de saneamento

básico em disciplinas do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas.

2 OBJETIVOS

Avaliar a representatividade de uma dada distribuição de bocas de lobo por meio da curva de saturação da sarjeta.

Avaliar o comportamento de uma solução convencional de lançamento de bocas de lobo em relação ao lançamento de bocas de lobo com base na curva de saturação da sarjeta.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo consiste em uma planta urbanística experimental cuja área de implantação corresponde a 949 mil m², constituída de 146 quadras. As quadras são distribuídas segundo critérios urbanísticos, sobre a topografia de um relevo ondulado cuja altimetria varia dentro do intervalo de 30 metros (Figura 1).



Figura 1 - Planta urbanística de estudo

A morfologia da planta possui uma curva declividades-áreas de drenagem decrescente, tipicamente encontrada em relevos ondulados, conforme apresentado na Figura 2. A curva representa as declividades ao longo das trajetórias de escoamento encon-

tradas na planta e as respectivas áreas de drenagem acumuladas ao longo da trajetória. A curva apresentada na Figura 2 corresponde ao levantamento sobre 31 trajetórias encontradas na planta. Cada trajetória foi examinada em média com 4 pontos.

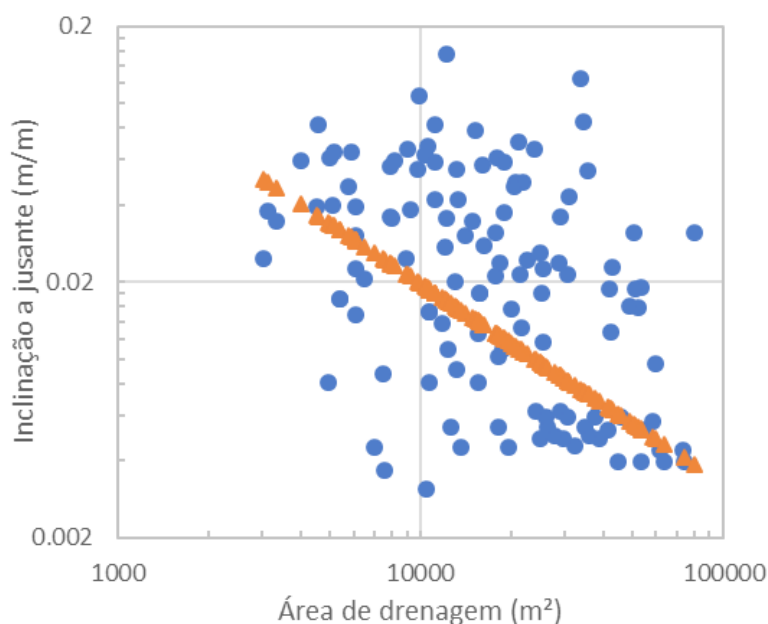


Figura 2 - Curva declividades-áreas de drenagem (pontos em triângulos) e valores observados (círculos) para a área de estudo

À medida que as áreas de drenagem aumentam, também a vazão de escoamento da água pluvial a jusante aumenta. Por outro lado, ao observar-se que a declividade do terreno cai no mesmo sentido, as sarjetas de um modo geral têm menor capacidade de condução a jusante. Uma vez que a sarjeta a jusante de determinadas quadras possui declividade baixa, a capacidade de condução eventualmente pode não comportar a vazão de escoamento superficial. O contrário pode-se dizer da sarjeta de maior declividade, pois sua capacidade de condução pode estar sendo subutilizada pela vazão afluente, permitindo um maior espaçamento entre as bocas de lobo. Para determinar o ponto de saturação das sarjetas, é necessário conhecer a curva de saturação da sarjeta. A experiência demonstra que a deposição de sedimentos e a deterioração do conjunto guia-sarjeta reduzem a capacidade efetiva de condução do escoamento. Assim, SMDU

(2012) adota um conjunto de fatores de redução a serem aplicados a estimativas teóricas da capacidade de condução das sarjetas, na qual o pico de capacidade é obtido à declividade de 2,0%.

De forma conceitual, a saturação da sarjeta ocorre no exato momento em que a vazão acumulada ao longo de uma trajetória alcança a capacidade efetiva de condução da sarjeta. A acumulação de vazão do escoamento superficial é representada graficamente essencialmente por seis padrões sobre a curva de saturação (Figura 3). Os pontos à direita da curva representam seções com excesso de vazão em relação à capacidade efetiva de condução. Pontos à esquerda da curva de saturação representam seções com vazão abaixo da capacidade efetiva de condução da sarjeta. Assim, os pontos sobre a curva de saturação demonstram o equilíbrio entre a vazão afluente na seção e a capacidade efetiva de condução da sarjeta.

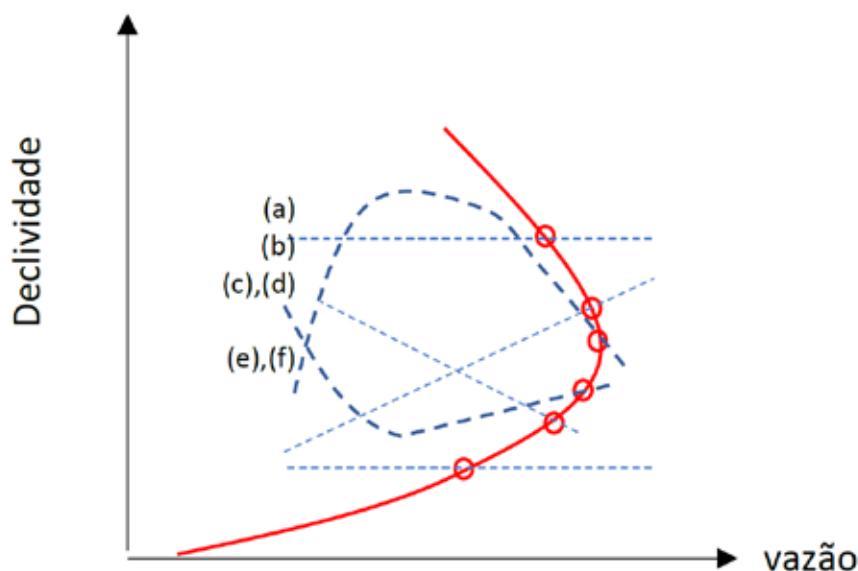


Figura 3 - Esboço de curva de saturação da sarjeta (linha cheia) e pontos de saturação (círculos) de seis trajetórias típicas: a) declividade elevada constante, b) declividade decrescente, c) declividade variável por um máximo, d) declividade variável por um mínimo, e) declividade crescente, f) terreno plano.

A vazão gerada pela chuva efetiva foi obtida neste estudo pela aplicação do método racional. Para tanto, o coeficiente de deflúvio foi assumido constante, conforme definido em SMDU (2013), de acordo com as ocupações definidas para cada quadra na planta urbanística. A chuva intensa foi calculada pela fórmula IDF de Campinas (DAEE, 2016), com duração igual ao tempo de concentração de cada seção, respeitando-se o mínimo de 5 minutos. O tempo de concentração foi calculado pelo método cinemático, $t_c = x/V$, sendo x a posição da seção na trajetória estudada e V a velocidade do escoamento na sarjeta.

4 RESULTADOS

A distribuição linear, uniformemente ao longo do perímetro de cada quadra, a cada 60 m, é um dos critérios aceitos pela SMDU (2012). Sem que a distribuição linear represente a distribuição de áreas de contribuição das quadras, a distribuição das bocas de lobo não oferece ajuste à acumulação de vazão do escoamento superficial direto. Tal discrepância entre a distribuição linear e a distri-

buição de áreas fica evidente nos casos em que as quadras são mais estreitas (menor razão de aspecto). As 146 quadras da planta experimental, neste caso, exigem que sejam distribuídas 488 bocas de lobo na área da planta, de acordo com o perímetro de cada quadra (Figura 4). A distribuição linear de bocas de lobo na planta é representada na figura de acordo com as declividades do terreno em cada quadra e a quantidade de bocas de lobo para o perímetro de cada quadra. Uma vez que a distribuição de bocas de lobo é uniforme, observa-se também na mesma nuvem de pontos que a distribuição dos tamanhos de quadras é decrescente (ver curva de projeção da distribuição linear na Figura 4) à medida que sobem as inclinações do terreno. Portanto, a distribuição linear reflete diretamente e simplesmente os aspectos urbanísticos do local.

Na mesma Figura 4, observa-se o desempenho da distribuição linear de bocas de lobo, com o apoio da curva de saturação das sarjetas. Observa-se que as bocas de lobo da distribuição linear localizam-se em baixo número (quatro) em um grande número de quadras. Comparativamente à distri-

buição de bocas de lobo obtida pelos pontos de saturação, em que a boca de lobo é posicionada de modo a evitar que a vazão do escoamento superficial de uma determinada trajetória ultrapasse a curva de saturação, as bocas de lobo da distribuição linear concentram-se mais à esquerda, já distantes da curva de saturação. Essa distribuição é determinada pela disposição arquitetônica das quadras, que nesse caso claramente diverge dos

alvos correspondentes aos pontos de saturação das sarjetas. Nesse caso, o posicionamento de bocas de lobo a ser obtido no projeto determina uma quantidade expressiva de bocas de lobo subutilizadas, 52% (círculo à esquerda da curva de saturação, na Figura 4) e uma quantidade também significativa de bocas de lobo sobrecarregadas, 10% (indicadas à esquerda da curva de saturação, na Figura 4).

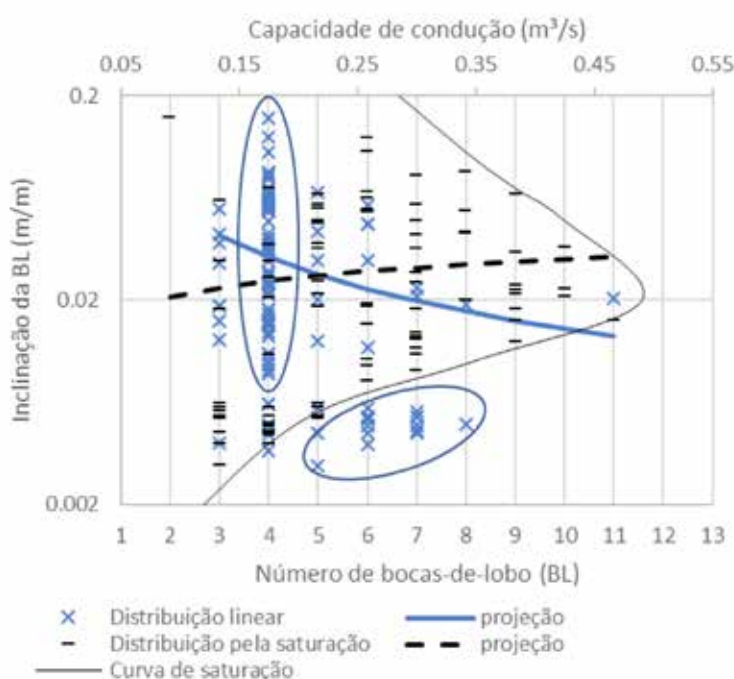


Figura 4 - Distribuição linear de bocas de lobo e distribuição de bocas de lobo de acordo com a saturação da sarjeta. Círculo à esquerda da curva de saturação indica posições subutilizadas e círculo à direita indica posições sobrecarregadas.

A avaliação do escoamento ao longo das sarjetas permitiu determinar 93 posições em que a vazão do escoamento superficial atinge a saturação da sarjeta. O número de bocas de lobo necessárias é calculado de acordo com a capacidade de engolimento da boca de lobo a ser adotada. Nesse caso, foram obtidas 532 bocas de lobo no total entre as posições determinadas. Observe-se que a projeção da distribuição de bocas de lobo por saturação possui comportamento inverso ao da distribuição linear de bocas de lobo. Essa inversão

de comportamento também se reflete em relação à distribuição arquitetônica das quadras. O fato de a projeção da distribuição de bocas de lobo ser crescente acompanha o comportamento da curva de saturação das sarjetas, que é crescente até o pico em 2% de declividade.

A avaliação da saturação da sarjeta ainda não encontra na literatura uma metodologia que dirija o projetista na utilização desse conceito. A análise visual da planta topográfica-urbanística em busca de trajetórias é uma tarefa por um lado puramen-

te morfológica (que é objetiva), mas, que, por outro lado, deixa espaço para a definição de parâmetros, o que torna a análise subjetiva. Por exemplo, o número de trajetórias e o número de subáreas de contribuição dentro da planta. A resolução topográfica também influencia a interpretação visual das trajetórias sobre a planta. Esta, por sua vez, tem sido objeto de avanços tecnológicos significativos, permitindo levantamentos dentro de 5m² por sensoriamento remoto a laser e o detalhamento dentro do lote. A resolução topográfica determina, por exemplo, a participação das quadras nas subáreas de drenagem, seja no sentido de incluir apenas quadras inteiras ou se há viabilidade para subdividi-las entre duas ou mais subáreas de drenagem, conforme sua disposição sobre as curvas de nível. Em princípio, traçados urbanos possuem um conjunto mínimo de seções cujas vazões correspondentes mais se aproximam da curva de saturação da sarjeta. A determinação matemática desses pontos consiste na solução ótima do problema da distribuição de bocas de lobo nas quadras. O equacionamento matemático desse problema depende, antes, da objetividade da determinação do número de subáreas e da resolução topográfica da área, como parâmetros da análise da morfologia do traçado urbano.

5 CONCLUSÕES

A distribuição linear de bocas de lobo, que leva à distribuição uniforme de bocas de lobo orientada pela urbanização das quadras, desvia-se significativamente dos pontos de saturação das sarjetas. Esse resultado é evidenciado, por um lado, pelo distanciamento da representação das bocas de lobo obtidas linearmente distribuídas em relação à curva de saturação. Tal discrepância fica evidenciada pelo fato de a representação do comportamento da distribuição linear de bocas de lobo ser decrescente em relação às declividades, conforme os perímetros das quadras, ao passo que a distribuição pelos pontos de saturação tem o comportamento inverso, crescente. No estudo

de caso, foi obtido 54% de bocas de lobo subutilizadas, e 10% delas foram seções sobrecarregadas. Por outro lado, conforme demonstrado, à medida que a morfologia das quadras aproximasse da curva de saturação, melhor a distribuição linear de bocas de lobo tenderia a se aproximar da distribuição pelos pontos de saturação.

O comportamento da representação da distribuição de bocas de lobo pelos pontos de saturação segue o comportamento da curva de saturação, que é crescente em relação à declividade. A solução encontrada pelos pontos de saturação não é exata. Entretanto, em princípio, a formulação matemática do problema, a partir da definição objetiva de parâmetros de resolução da análise morfológica das quadras, forneceria o número mínimo de seções das sarjetas que mais se aproxima da curva de saturação.

6 AGRADECIMENTOS

À Professora Colaboradora Eglé Novaes Teixeira e ao Professor Dr. Adriano Toneti, por compartilharem a planta urbanística experimental utilizada em suas disciplinas e que permitiu a realização deste estudo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOLDRIN, A. J. ; BATISTA, J. A. N. . Avaliação do desempenho hidráulico de um sistema de drenagem de águas pluviais urbanas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 263-273, 2018.
- 2.DAEE **Precipitações Intensas no Estado de São Paulo**. São Paulo. DAEE. CTH. 270p, 2016.
- 3.Fundação João Pinheiro (FJP) **Déficit Habitacional no Brasil: 2013 - 2014**. Belo Horizonte. 92p, 2016.
- 4.SMDU **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos: diretrizes para projetos**, v3, São Paulo, 128 p., 2012.
- 5.United Nation Population Fund (UNFPA). **State of World Population: unleashing the potential of urban growth**. New York. EUA. 108 p., 2017.
- 6.Urban Drainage and Flood Control District of Denver (UDFCD) **Urban Drainage Design Criteria**. Denver, EUA, 2008